"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد یازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱
(ص ۱۶-۱)
مقاله پژوهشی

Iranian Journal of
Seed Science and Technology
Vol.: 11, No.: 2, Summer 2022
(pp: 1-16)
DOI: 10.22092/ijsst.2022.356183.1411
Research Article

اثر تغذیه گیاه سویا با غلظت‌های مختلف ترکیبات روی بر جوانه‌زنی بذور تولید شده و رشد اولیه گیاهچه

نفیسه شیبانی[۱]، سینا فلاح[۲*]، حسین بارانی بیرانوند[۳]، عالیه صالحی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد
۲. استاد گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد
۳. استادیار گروه زیست شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد
۴. پژوهشگر گروه ارگانیک، دانشگاه بوکو

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۷)

چکیده

به منظور ارزیابی پتانسیل جوانه‌زنی و رشد اولیه بذور سویا تغذیه شده با نانوذرات اکسید روی، دو آزمایش جداگانه (در محیط ژرمیناتور و در خاک) در دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۹ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی در گیاه مادری شامل ترکیبات مختلف روی (نانوذرات اکسید روی با اندازه‌های ۳۸، ۵۹ نانومتر و کلرید روی) و غلظت‌های متفاوت (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) بودند. با افزایش غلظت نانو ذرات اکسید روی به خصوص نانو ذره ۳۸ نانومتر در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی (به ترتیب ۶۷ و ۸۹٪)، طول و وزن ریشه‌چه (به ترتیب ۱۳۳ و ۳۵۶٪)، طول و وزن ساقه‌چه (به ترتیب ۱۳۵ و ۱۰۳٪) و در نتیجه شاخص بنیه گیاهچه (۲۹۱٪) افزایش یافت. افزایش معنی‌داری در میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوییدها (به ترتیب ۲۸، ۳۳۳ و ۷۳٪)، ارتفاع بوته (۴۱٪)، سطح برگ (۶۶٪)، وزن اندام هوایی (۱۶۷٪) گیاهچه حاصل از بذور سویا تغذیه شده با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اکسید روی ۳۸ نانومتر مشاهده شد اما در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ترکیبات روی اثرات سمی در گیاهچه مشاهده گردید. به‌طور کلی نتیجه‌گیری می‌شود تغذیه گیاه سویا با نانوذره اکسید روی می‌تواند در بنیه بذر تولید شده بسیار مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: جوانه‌زنی، رنگدانه‌های فتوسنتزی، تغذیه گیاه سویا، بذر

Effect of feeding soybean with different concentrations of zinc compounds on germination of produced seed and initial seedling growth

N. Sheibany[1], S. Fallah [2*], H. Barani-Beiranvand [3], A. Salehi [4]

1. MSc Student, Department of Agronomy, Shahrekord University, Iran.
2. Professor, Department of Agronomy, Shahrekord University, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Biology, Islamic Azad University, Najafabad Branch, Iran.
4. Researcher, Department of Organic Farming, BOKU University, Austria.

(Received: Jan. 02, 2022 – Accepted: Apr. 06, 2022)

Abstract

In order to evaluate the potential of germination and initial seedling growth of soybean seeds fed with zinc oxide nanoparticles, two experiments (in growth chamber and soil) were performed at Shahrekord University in 2020. The treatments in the maternal plant included different compounds of zinc (zinc oxide nanoparticles with sizes of 38, 59 nm and zinc chloride) and different concentrations (0, 50, 100, 200 and 500 mg/kg soil). With increasing the concentration of zinc oxide nanoparticles, especially 38 nm nanoparticles at a concentration of 200 mg/kg, germination percentage and germination rate (67 and 89%, respectively), radicle length and weight (133 and 356%, respectively), plumule length and weight (135 and 103%, respectively) and as a result, seedling vigor index increased (291%). Significant increase in chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoids (28, 333 and 73%, respectively), plant height (41%), leaf area (66%), shoot weight (167%) of seedlings of soybeans fed with 200 mg/kg ZnO 38-nm was observed but at a concentration of 500 mg/kg of zinc compounds the toxic effects on soybean seedlings was observed. In general, it is concluded that feeding soybean plant with zinc oxide nanoparticles can be very effective in increasing the vigor of produced seed.

Keywords: Germination, Photosynthetic pigments, Soybean nutrition, Seed

* Email: falah1357@yahoo.com

مقدمه

کشاورزی پایدار با بهره‌وری بالا برای کاهش خطر گرسنگی و افزایش امنیت غذایی بسیار مهم است. تولید و توزیع مواد غذایی به دلیل تغییرات آب و هوایی، افزایش جمعیت انسانی، کاهش زمین‌های حاصل‌خیز و منابع آب شیرین در مقیاس جهانی تحت فشارهای فزاینده و مداوم است. این چالش را می‌توان با پیشرفت‌های فناوری همراه با تغییرات قابل توجه در سیستم‌های تولید جهانی مواد غذایی موجود رفع کرد (Seleiman *et al.*, 2021).

نانو ذرات مواد طبیعی یا مصنوعی هستند که حداقل دارای دو بعد بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر هستند. این ذرات به دلیل سطح بسیار زیاد نسبت به حجم دارای ویژگی‌های متعددی مانند واکنش پذیری بالا و سازگاری بیشتر با محیط نسبت به نمونه‌های غیر نانوی خود هستند (Garma, 2011) که با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، کاربرد آن‌ها در کشاورزی، مواد آرایشی، مواد شیمیایی، الکترونیکی، مواد غذایی، بسته‌بندی، مواد افزودنی، سوخت، انرژی، نساجی، رنگ، مواد دارویی و پلاستیکی در حال افزایش است (Rajput *et al.*, 2019).

عنصر روی باعث افزایش رشد بذرهای جوانه‌زده می‌شود، در ظرفیت جذب و انتقال آب تاثیر می‌گذارد و اثر سوء تنش گرما و خشکسالی یا نمک را کاهش می‌دهد. به علاوه این عنصر در تولید اکسین و جیبرلین نقش فعالی دارد. همچنین غلظت بالای روی می‌تواند از طریق جابجایی سایر عناصری که قطر و بار مشابه دارند به عملکرد سلول آسیب برساند و تعدادی از فرآیندهای اساسی موجود را مختل کند (Andrejić *et al.*, 2018).

نانواکسید روی نوعی از نانوکودها است که در محصولات زراعی مختلف استفاده می‌شود (Faizan *et al.*, 2020). به عنوان مثال در بادام زمینی باعث افزایش جوانه‌زنی و بنیه بذر می‌شود (Prasad *et al.*, 2012). در مطالعه دیگری اثرات ذرات نانو و بالک اکسید روی بر روی جوانه‌زنی، رشد و پارامترهای بیوشیمیایی کلم، گل کلم و گوجه‌فرنگی مورد مقایسه قرار گرفت (Singh *et al.*, 2013). مشاهده شد که بالک اکسید روی دارای سمیت بوده و بر جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و پارامترهای بیوشیمیایی گیاهان مورد آزمایش تأثیر منفی دارد. بطوری که جوانه‌زنی را کاهش داد و باعث کوتاهی ساقه می‌شود. اما نانواکسید روی جوانه‌زنی، رشد گیاهچه، رنگدانه‌ها، قند و محتوای پروتئین را همراه با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در هر سه محصول مورد آزمایش را افزایش داد.

در مطالعه اثرات چهار نانوذره اکسید روی برای جوانه‌زنی بذر *Brassica pekinensis* L. گزارش شد که نانوذرات اکسید روی در غلظت‌های ۱ تا ۸۰ میلی‌گرم در لیتر تأثیری بر سرعت جوانه‌زنی نداشت، اما به طور قابل‌توجهی از طویل شدن ریشه و ساقه گیاهچه جلوگیری کرد و ریشه‌ها حساس‌تر بودند. هم تولید گروه‌های هیدروکسیل آزاد ($OH^{\cdot}$) و هم تجمع زیستی روی در ریشه‌ها یا اندام‌های هوایی منجر به سمیت نانو در گیاهچه‌ها شد. سمیت نانو اکسید روی به طور قابل توجهی تحت تأثیر اندازه ذرات قرار گرفت و بیشترین میزان آن توسط ذرات کوچک حاصل شد (Xiang *et al.*, 2015). در مطالعه دیگری نشان داده شده است که، نانو ذرات اکسید روی در گیاه پیاز در غلظت‌های بالای ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث افزایش سمیت در سلول ریشه، و همچنین افزایش تقسیم DNA می‌شود (Ghosh *et al.*, 2016).

در یک تحقیق با بررسی اثرات نانوذرات اکسید روی بر جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه *Capsicum annuum* L. (García-López *et al.*, 2018) گزارش شد که تیمار نانوذرات اکسید روی سرعت جوانه‌زنی بذر را در هفت روز اول بهبود بخشید. جوانه‌زنی و بنیه بذر با اکسید روی نانوذرات در غلظت ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به ترتیب ۱۲۳، ۱۲۹و ۹۴درصد افزایش یافت. تیمارهای نانواکسید روی به طور قابل‌توجهی بر رشد ساقه تأثیر نداشتند، اما تأثیر قابل‌توجهی بر طول ریشه‌چه داشتند

($p \leq 0.01$). غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اکسید روی رشد ریشه‌چه را مهار کرده و باعث تجمع ترکیبات فنلی با اثر سمی گیاهی در این اندام شدند.

محققان نشان دادند که ذرات اکسید روی با ابعاد کمتر از میکرون (ZnO SMPs) و نانوذرات اکسید روی (ZnO NPs)، در محدوده غلظتی از ۵۰ تا ۱۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر، می‌توانند برای تحریک فرآیند جوانه‌زنی بذر پیاز (Allium cepa L.) بدون تأثیر منفی بر رشد و نمو بیشتر گیاهچه‌ها استفاده شوند. هیچ تفاوتی بین نقش ZnO SMPs و ZnO NPs مشاهده نشد، که نشان می‌دهد مهم‌ترین عامل مؤثر بر جوانه‌زنی بذر در واقع غلظت یون‌های روی است، نه اندازه ذرات (Tymoszuk, and Wojnarowicz, 2020).

استفاده از کودهای نانو نقش مهمی در بهینه‌سازی تکنیک‌های مدیریتی کشاورزی مرسوم دارد. علاوه بر این، گیاهان در اکوسیستم‌های کشاورزی می توانند در معرض نانوذرات رها شده از منابع مختلف قرار گیرند. اگرچه اثرات استفاده از نانوذره اکسید روی بر رشد و عملکرد گیاه سویا مورد بررسی قرار گرفته است (Yusfei-Tanha *et al.*, 2020) ولی ما در این آزمایش اثرات نانوذرات اکسید روی طی دوره رشد گیاه مادری (سویا) بر پتانسیل جوانه‌زنی و رشد اولیه بذرهای تولید شده مورد بررسی قرار دادیم.

مواد و روش‌ها

در این بررسی بذر گیاه مادری (سویا، رقم کوثر) از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال ۱۳۹۷ تهیه شد. سپس بذرها در خاک تیمار شده با دامنه‌ای از غلظت نانوذرات اکسید روی و کلرید روی کشت شدند و پس از ۱۲۰ روز بذرهای تولید شده برداشت شد (Yousefi-Tanha, 2020). بذرهای تولید شده برای مقایسه اثرات نانوذرات اکسید روی و کلرید روی طی دوره رشد گیاه مادری بر پتانسیل جوانه‌زنی و رشد اولیه بصورت آزمایش‌های زیر مورد ارزیابی قرار گرفتند. دلیل انتخاب گیاه سویا در این مطالعه عدم وجود اطلاع از اثرات بین نسلی نانوذرات در گیاهان زراعی و همچنین دسترسی به بذرهای تولید شده در شرایط تغذیه گیاه مادری با نانوذرات مختلف بود. بنابراین یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در محیط ژرمیناتور و آزمایش دوم نیز بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در خاک اجرا گردید. در هر دو آزمایش بذور حاصل از بوته‌های سویا تغذیه شده با نانوذرات اکسید روی با اندازه‌های (۳۸ و ۵۹ نانومتر) و کلرید روی در غلظت‌های مختلف (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) به ترتیب به عنوان فاکتورهای آزمایشی در نظر گرفته شد. بنابراین در این آزمایش‌ها فاکتور اول دارای سه سطح و فاکتور دوم دارای ۵ سطح بود. نانوذرات اکسید روی به روش سل ژل (sol-gel) در دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهیه شدند.

روش اجرا آزمایش در ژرمیناتور

به منظور بررسی پارامترهای جوانه‌زنی در شرایط کنترل شده (ژرمیناتور) بذرهای حاصل از گیاهان سویای رشد یافته در خاک حاوی نانو اکسید روی ابتدا با آب مقطر چندین بار شستشو داده شد و در هر واحد آزمایشی (پتری‌دیش) ۲۵ عدد بر روی کاغذ صافی به اندازه ۱۰ سانتی‌متر مربع قرار داده شد، و روی بذرها یک لایه کاغذ صافی قرار داده شد. به پتری‌دیش‌ها آب مقطر اضافه شد به طوری که بذرها و کاغذ صافی به طور کامل خیسانده شد. پتری دیش‌ها در شرایط تاریکی در ژرمیناتور قرار داده شد و بذرهای جوانه زده (دارای حداقل ریشه‌چه ۲ میلی‌متری) هر ۲۴ ساعت به مدت ۷ روز ثبت گردید.

روش اجرا آزمایش گلدانی

خاک از لایه‌ی سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) مزرعه جمع آوری شد و از الک ۲ میلی‌متری برای جدا سازی کلوخه‌ها و سنگریزه‌ها استفاده شد. سپس گلدان‌هایی با قطر و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر تهیه شده، و بذور جمع آوری شده از

گیاهان رشد یافته در خاک حاوی نانوذرات اکسید روی و با آب مقطر شسته شدند و در تاریخ ۱۴ تیر ۱۳۹۹ در هر گلدان یک عدد در عمق ۲/۵ سانتی‌متر خاک کشت گردید. بلافاصله پس از کاشت آبیاری شد و آبیاری‌های بعدی تا مرحله برداشت گیاهچه‌ها (مرحله ۵ برگی) هر دو روز یکبار انجام شد. برای کنترل آفات و بیماری مراقبت‌های لازم در طول دوره رشد انجام گرفت و برداشت گیاهچه سویا در مرحله ۵ برگی در تاریخ ۱۴ مرداد ۱۳۹۹ صورت گرفت. سپس پارامترهای زیر اندازه‌گیری اندازه‌گیری و ثبت شد.

اندازه‌گیری پارامترهای جوانه‌زنی

درصد جوانه‌زنی

در طی دوره جوانه‌زنی گیاه در ۷ روز هر ۲۴ ساعت تعداد بذور جوانه زده شمارش شده و ثبت گردید و از طریق رابطه زیر محاسبه شد (Ikic *et al.*,2012).

$$GP= (N_G / N_T) \times 100$$

N_G: تعداد بذرهای جوانه‌زده، N_T: تعداد کل بذرها، GP: درصد جوانه‌زنی

سرعت جوانه‌زنی

در طی دوره جوانه‌زنی تعداد بذور جوانه‌زده در هر تکرار با فواصل ۲۴ ساعت شمارش گردید و از طریق رابطه زیر محاسبه شد(Ikic *et al.*,2012).

$$GR= \sum (N_i / D_i) \times 100$$

N_i: تعداد بذر جوانه‌زده در روز n ام، D_i: روز n ام پس از شروع آزمایش، GR: سرعت جوانه‌زنی

طول ریشه‌چه، ساقه‌چه و گیاهچه

پس از اتمام طول دوره جوانه‌زنی گیاه طول ریشه‌چه و ساقه‌چه با خط کش اندازه‌گیری شد و میانگین طول پنج گیاهچه گزارش گردید.

وزن خشک ریشه‌چه، ساقه چه و گیاهچه

پس از اندازه‌گیری طول گیاهچه، ریشه‌چه و ساقه‌چه از یکدیگر جدا سازی شد و به صورت جداگانه درون پاکت کاغذی قرار داده شدند و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت درون آون قرار داده شد. پس از خشک شدن گیاه، وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد و میانگین وزن ۵ گیاهچه گزارش گردید.

شاخص بنیه طولی

پس از محاسبه درصد جوانه‌زنی و اندازه‌گیری طول گیاهچه شاخص بنیه طولی از رابطه زیر محاسبه گردید (Abdul- Baki and Anderso,1973).

$$SV=GP \times SL$$

SV: شاخص بنیه طولی بذر، SL: طول گیاهچه

اندازه‌گیری صفات آزمایش گلدانی

اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی

جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، b و کارتنوئید از روش لیچنتالر ویشمن (Lichtenthaler and Buschman, 2001) استفاده شد. طبق این روش ۰/۵ گرم برگ در هاون چینی دارای ۵ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ به هم زده شد. محتویات حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و این کار تا برگ بی‌رنگ شود ادامه پیدا کرد. عصاره بدست آمده با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه (rpm) به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس محتویات هر لوله آزمایش با استون ۸۰٪ به حجم ۱۵ میلی‌لیتر رسانده شد و سپس میزان جذب نوری هر عصاره‌ای توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل PD- 3038) در طول موج های ۶۶۱/۶، ۶۴۴/۸ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. جهت محاسبه غلظت کلروفیل (میلی‌گرم بر گرم وزن تازه برگ) از روابط زیر استفاده شد.

$$\text{Cholorophyll a (mg/ml)} = 12.5 \times A_{661.6} - .79 \times A_{644.8}$$

$$\text{Cholorophyll b (mg/ml)} = 21.51 \times A_{644.8} - 5.1 \times A_{661.6}$$

$$\text{Cholorophyll Total (mg / ml)} = \text{Cholorophyll a} + \text{Cholorophyll b}$$

$$\text{Cartenoids (mg / ml)} = [(1000 (A_{470}) - 1.82 (\text{Chl.a}) - 85.02 (\text{Chl.b})] / 198$$

A = میزان جذب نور توسط عصاره در طول موج‌های مربوطه

اندازه‌گیری طول ریشه، ارتفاع بوته و سطح برگ

بلافاصله پس از قطع اندام هوایی، ریشه‌شویی خاک گلدان انجام شد و برای اندازه‌گیری طول ریشه‌ها و ارتفاع بوته به آزمایشگاه منتقل شدند و با آب مقطر شسته شدند و با استفاده از خط کش طول آن‌ها اندازه گیری شد و با استفاده از کاغذ شطرنجی میانگین سطح برگ پنج برگ گیاه گزارش گردید.

وزن خشک ریشه و اندام هوایی

بخش‌های گیاه بر اساس نوع بافت (ریشه، ساقه و برگ) جداسازی شد و درون پاکت کاغذی قرار داده شد و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار گرفتند. پس از سپری شدن مدت زمان مورد نظر وزن خشک اندام مختلف توزین شد.

آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل آماری برای هر دو آزمایش برای داده‌های مربوط به پارامترهای مورد ارزیابی در قالب طرح کامل تصادفی به صورت فاکتوریل به وسیله نرم افزار SAS (ver 9.1) صورت گرفت. همچنین معنی‌داری اثر متقابل تیمارهای آزمایشی نیز توسط نرم افزار توسط MSTAT_C مقایسه شدند. ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات محاسبه شد و میانگین تیمارها در سطح احتمال ۵ ٪ با آزمون LSD انجام شد.

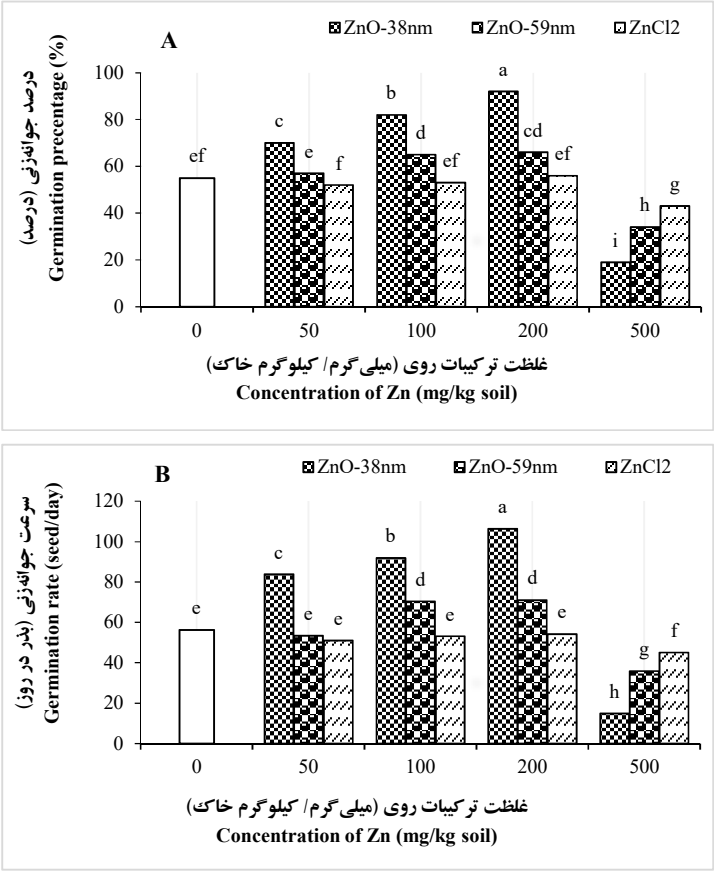
نتایج و بحث

درصد و سرعت جوانه‌زنی

در آزمایش پتری‌دیش، اثر معنی‌داری از نوع ترکیب روی، غلظت ترکیب و اثر متقابل آنها بر درصد و سرعت جوانه‌زنی سویا مشاهده شد ($p < 0.01$). شکل ۱- الف اندازه و غلظت ذرات روی نشان می دهد که افزایش غلظت کلرید روی در مقایسه با شاهد در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری در درصد جوانه‌زنی سویا نشان نداد. بیشترین میزان جوانه‌زنی در نانو اکسید روی ۳۸ نانومتر با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد و درصد جوانه‌زنی آن در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب ۲۷، ۴۹ و ۶۷٪ در مقایسه با شاهد افزایش یافت. اما در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نانوذرات اکسید روی و کلرید روی بر روی گیاه اثر سمی نشان داد و درصد جوانه‌زنی کاهش یافت.

شکل ۱- ب نشان می دهد که افزایش غلظت کلرید روی در مقایسه با شاهد در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری در سرعت جوانه‌زنی سویا نشان نداد. بیشترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار نانو اکسید روی ۳۸ نانومتر تا غلظت ۲۰۰ در مقایسه با نانواکسید ۵۹ نانومتر و کلرید روی بدست آمد که سرعت جوانه‌زنی آن با افزایش میزان غلظت به ترتیب ۴۹، ۶۳ و ۸۹٪ در مقایسه با شاهد افزایش یافت. به طور کلی غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی اثر سمی در گیاه داشته است که با کوچک تر شدن اندازه ذرات اثر سمیت آن در گیاه بیشتر شده است. در مطالعه حاضر، کاربرد نانوذرات اکسید روی در تغذیه گیاه مادری باعث افزایش جوانه‌زنی بذر سویا شد (شکل ۱- الف و ۱-ب)، از انجا که بوته‌های سویا تغذیه شده با نانوذرات اکسید روی دارای دانه‌های سنگین‌تر بوند و پرشدن دانه‌ها در مقایسه با کلرید روی بهتر بود (Yousefi-Tanha, 2020)، لذا ممکن است دلیل جوانه‌زنی بهتر دانه های حاصل از تغذیه نانوذرات اکشید روی به ذخیره مواد غذایی بیشتر آنها مرتبط باشد. در این ارتباط لطفی‌فر و همکاران (Lotfifar *et al.*, 2007) اظهار داشتند که اثر افزایش وزن دانه را می‌توان تا حد بالایی نشان دهنده ارتباط مقدار ماده ذخیره‌ای موجود در بذر با افزایش توان جوانه‌زنی و رشد گیاهچه دانست. علاوه بر این، همچنین پتاسیم بذر نیز می‌تواند باعث افزایش و تسریع جوانه‌زنی بذر شود (Yari *et al.*, 2014). از آنجا که نانوذرات اکسید روی ۳۸ و ۵۹ نانومتر در غلظت های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم

بر کیلوگرم باعث افزایش پتاسیم بذر در دانه سویا شد (Yousefi-Tanha, 2020)، بنابراین افزایش ذخیره مواد در بذر و محتوای روی و پتاسیم در بذر می‌تواند درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر را افزایش دهد (شکل ۱). پاراساد و همکاران (Prasad *et al.*, 2012) نشان دادند که نانوذرات اکسید روی ۲۵ نانومتر گیاه *Arachis hypogaea* تا غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه می‌شود. در حالیکه، در غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اثر سمی بر گیاه داشت و علاوه بر این، در *Lolium pernne* نانوذرات اکسید روی ۲۰ نانومتر در غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر سبب افزایش جوانه‌زنی در گیاه شدند (Li and Zhang, 2007).



شکل ۱- اثر تغذیه گیاه مادری سویا با ترکیبات مختلف روی بر درصد جوانه‌زنی (الف) و سرعت جوانه‌زنی (ب) در آزمایش پتری‌دیش.
میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD فاقد تفاوت آماری معنی‌دار در سطح ۵ ٪ می‌باشند.

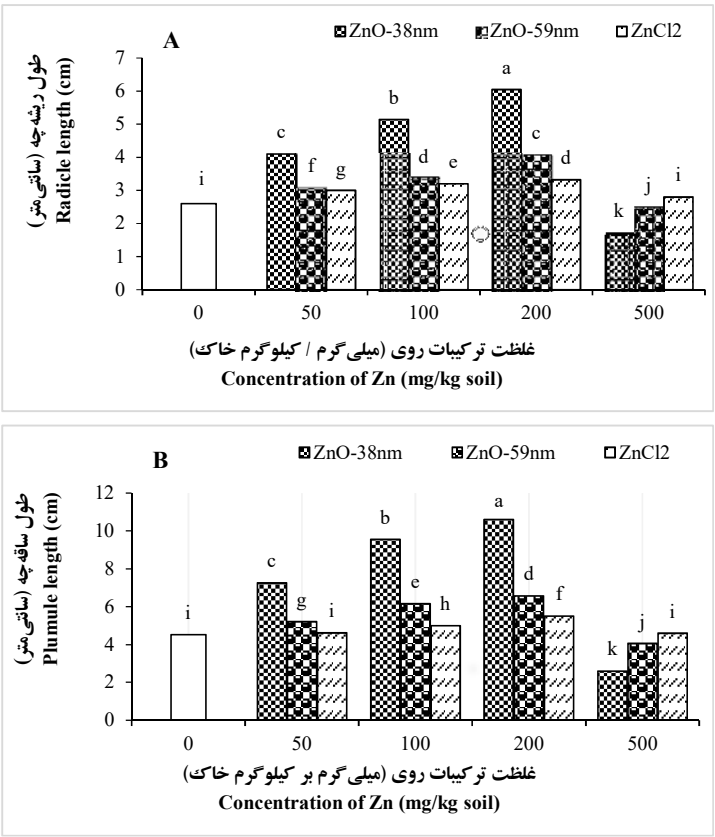
Fig. 1- Effect of feeding maternal soybean plant with different concentrations of zinc compounds on germination percentage (A) and germination rate (B) in Petri dish experiment.
Means with similar letters do not have statistically significant difference based on LSD test at the 5% probability level.

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه

نتایج تجزیه واریانس در آزمایش پتری‌دیش نشان داد که طول ریشه‌چه و ساقه‌چه سویا تحت تأثیر نوع ترکیب روی، غلظت ترکیب و اثر متقابل آنها قرار گرفت ($p < 0.01$). با توجه به شکل ۲- الف اندازه و غلظت ذرات روی مشاهده می‌شود که افزایش غلظت کلرید روی باعث افزایش طول ریشه‌چه سویا شد که در مقایسه با شاهد در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم

به ترتیب ۰/۴، ۰/۶، ۰/۷۲ سانتی‌متر طول ریشه‌چه افزایش یافت و در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین میزان طول ریشه‌چه تیمار ۳۸ نانومتر در مقایسه با نانواکسید روی ۵۹ نانومتر و کلرید روی است که طول ریشه‌چه آن با افزایش میزان غلظت تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب ۱/۵، ۲/۵۵ و ۳/۴۵ سانتی‌متر باعث افزایش طول ریشه‌چه شد، و در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانواکسید روی اثر سمی بر روی گیاه داشته است، به طوری‌که با کوچک تر شدن اندازه ذرات اثر منفی آن بر روی گیاه بیشتر شده است.

در شکل ۲-ب مشاهده می‌شود که تیمار ۳۸ نانومتر در مقایسه با نانوذره اکسید روی ۵۹ نانومتر و کلرید روی دارای بیشترین طول ساقه‌چه بود و طول ساقه‌چه آن در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مقایسه با شاهد به ترتیب ۲/۷۳، ۵/۰۳ و ۶/۰۸ سانتی‌متر افزایش یافت. به طور کلی نانواکسید روی در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اثر سمی بر روی گیاهچه داشته است که با کوچک تر شدن اندازه ذرات اثر سمیت آن بر روی گیاهچه بیشتر شده است و نانوذره اکسید روی ۳۸ نانومتردر همین غلظت نسبت به شاهد ۴۲ ٪ کاهش یافت (شکل ۲- ب).



شکل ۲- اثر تغذیه گیاه مادری سویا با ترکیبات مختلف روی بر طول ریشه‌چه (الف) و طول ساقه‌چه (ب) در آزمایش پتری‌دیش.
میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD فاقد تفاوت آماری معنی‌دار در سطح ۵ ٪ می‌باشند.

Fig. 2- Effect of feeding maternal soybean plant with different concentrations of zinc compounds on radicle length (A) and plumule length (B) in Petri dish experiment.
Means with similar letters do not have statistically significant difference based on LSD test at the 5% probability level.

تغذیه سویا با نانوذرات اکسید روی تا غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باعث افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه شد و در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسید روی ایجاد سمیت کرده است که احتمالا به دلیل تاثیر عنصر روی بر افزایش میزان نیتروژن بذر سویا تا غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (Yousefi-Tanha, 2020). زیرا با افزایش غلظت نانوذرات اکسید روی تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، میزان آسیمیلاسیون جاری گیاه سویا طی پر شدن دانه و بالطبع تخصصی میزان مواد فتوسنتزی برای پرشدن دانه موجب افزایش وزن دانه شد (Yousefi-Tanha, 2020). وزن بذر بر روی طول اجزای گیاهچه تأثیر داشت به طوری‌که بذرهای دارای وزن بالاتر گیاهچه‌های بلندی را تولید می‌کنند (Lotfifar *et al.*, 2007). در دیگر آزمایش‌ها نیز نانوذرات اکسید روی ۲۰ نانومتر در غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در گیاه *Lolium perenne* باعث افزایش طول ریشه شدند (Li and Zhang, 2007).

وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه

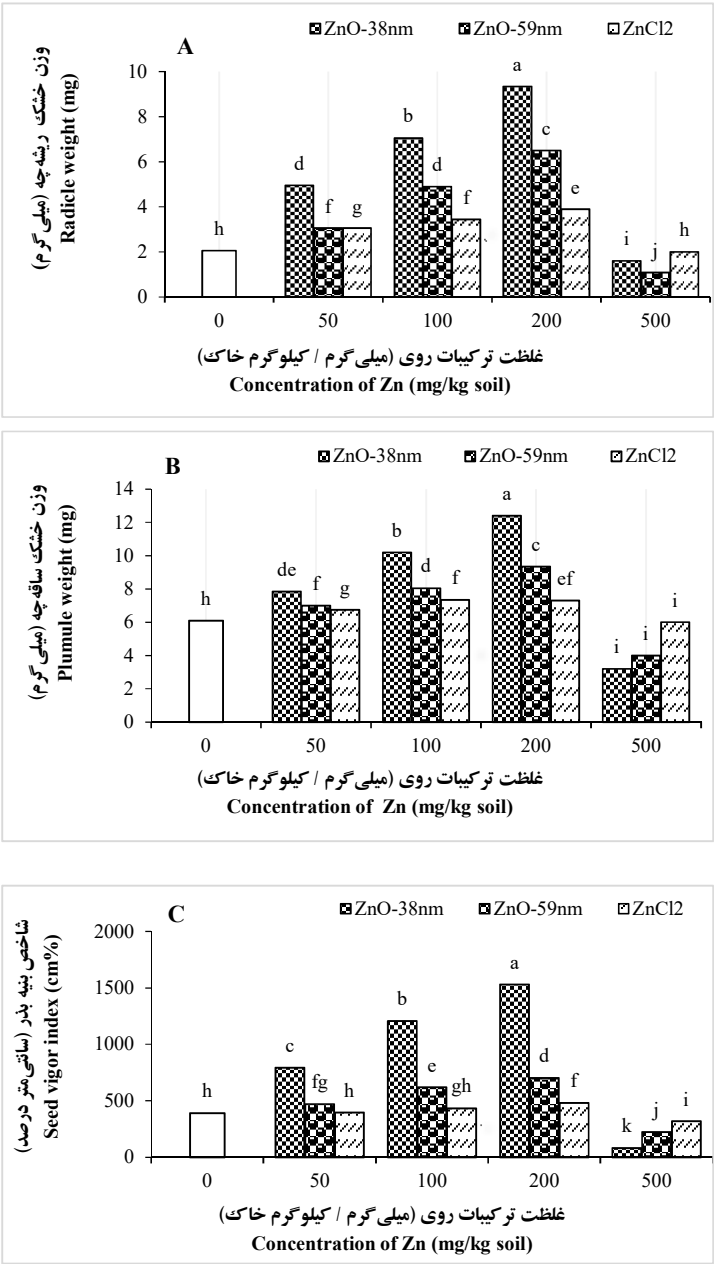
وزن ریشه‌چه و ساقه‌چه سویا در آزمایش پتری‌دیش تحت تاثیر نوع ترکیب روی، غلظت ترکیب و اثر متقابل آنها قرار گرفت ($p < 0.01$) . همانطور که در شکل ۳- الف مشاهده می‌شود، افزایش غلظت کلرید روی باعث افزایش وزن ریشه‌چه سویا شد و در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان نداد. بیشترین میزان وزن ریشه‌چه با نانواکسید روی ۳۸ نانومتر در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم حاصل شد که وزن آن ۷/۳ میلی‌گرم نسبت به شاهد افزایش یافت و علاوه بر این نانواکسید روی در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اثر سمی بر روی گیاه داشته است.

افزایش غلظت کلرید روی و نانوذرات اکسید روی تا غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در گیاه مادری باعث افزایش وزن ساقه‌چه سویا شد (شکل ۳-ب). بیشترین میزان وزن ساقه‌چه در مقایسه با نانواکسید روی ۵۹ نانومتر و کلرید روی مربوط به تیمار ۳۸ نانومتر است که وزن ساقه‌چه آن با افزایش میزان غلظت به ترتیب ۱/۷۵، ۴/۱و ۶/۳ میلی‌گرم بیشتر از شاهد بود و کمترین وزن ساقه‌چه مربوط به تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسید روی ۴۷/۵ ٪ نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۳- ب).

در مطالعه حاضر، کاربرد نانوذرات اکسید روی در تغذیه گیاه مادری تا غلظت‌های متوسط باعث افزایش وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه بذور تولید شده گردید و افزایش غلظت بیش از ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم موجب ایجاد سمیت شده و وزن اندام‌های مختلف گیاهچه را کاهش داد (شکل‌های ۳- الف و ۳-ب). میزان عنصر فسفر و روی هم در گیاه و هم در خاک با هم تعامل دارند. در رابطه با اثرات غلظت این عناصر در گیاهان احتمالا برهمکنش فسفر و روی در خاک نسبت به گیاه از اهمیت بیشتری برخودار است (Wang *et al.*, 2018). رشد گیاهان سویا در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسید روی باعث کاهش میزان فسفر دانه‌های تولید شده گردید اما مقدار فسفر دانه در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ترکیبات روی به طور قابل توجهی افزایش یافت (Yousefi-Tanha, 2020). افزایش میزان فسفر سبب افزایش وزن خشک گیاهچه می‌شود (Ronaghi *et al.*, 2002).

اثر معنی‌داری از نوع ترکیب روی، غلظت ترکیب و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص بنیه طولی گیاهچه شاهده شد ($p < 0.01$). در آزمایش پتری‌دیش مشاهده شد که با افزایش غلظت ترکیبات، مقدار شاخص بنیه طولی برای کلیه ترکیبات روی به طور معنی‌داری تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت. کمترین شاخص بنیه طولی در گیاهان در معرض ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذره اکسید روی ۳۸ نانومتر مشاهده شد (شکل ۳-ج). شاخص بنیه طولی حاصل‌ضرب طول گیاهچه در درصد جوانه‌زنی است و با افزایش میزان غلظت تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسید روی و یون‌های روی، درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه روند افزایشی نشان داد، همچنین

ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص بنیه طولی با وزن هزار دانه، پتاسیم، فسفر، نیتروژن و غلظت روی به ترتیب ۰/۸۵، ۰/۷۹، ۰/۸۳، ۰/۸۶ و ۰/۸۴ بود که این ضرایب در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بودند. بنابراین فراهم بودن این عناصر در دانه سویا تولید شده (Yousefi-Tanha, 2020) می‌تواند در افزایش بنیه بذر مؤثر باشد.



شکل ۳- اثر تغذیه تغذیه گیاه مادری سویا با ترکیبات مختلف روی بر وزن ریشه‌چه (الف)، وزن ساقه‌چه (ب) و شاخص بنیه بذر (ج) در آزمایش پتری‌دیش.
میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ ٪ فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.

Fig. 3- Effect of feeding maternal soybean plant with different concentrations of zinc compounds on radicle weight (A), plumule weight (B), and seed vigor index (C) in Petri dish experiment.
Means with similar letters do not have statistically significant difference based on LSD test at the 5% probability level.

رنگدانه‌های فتوسنتزی

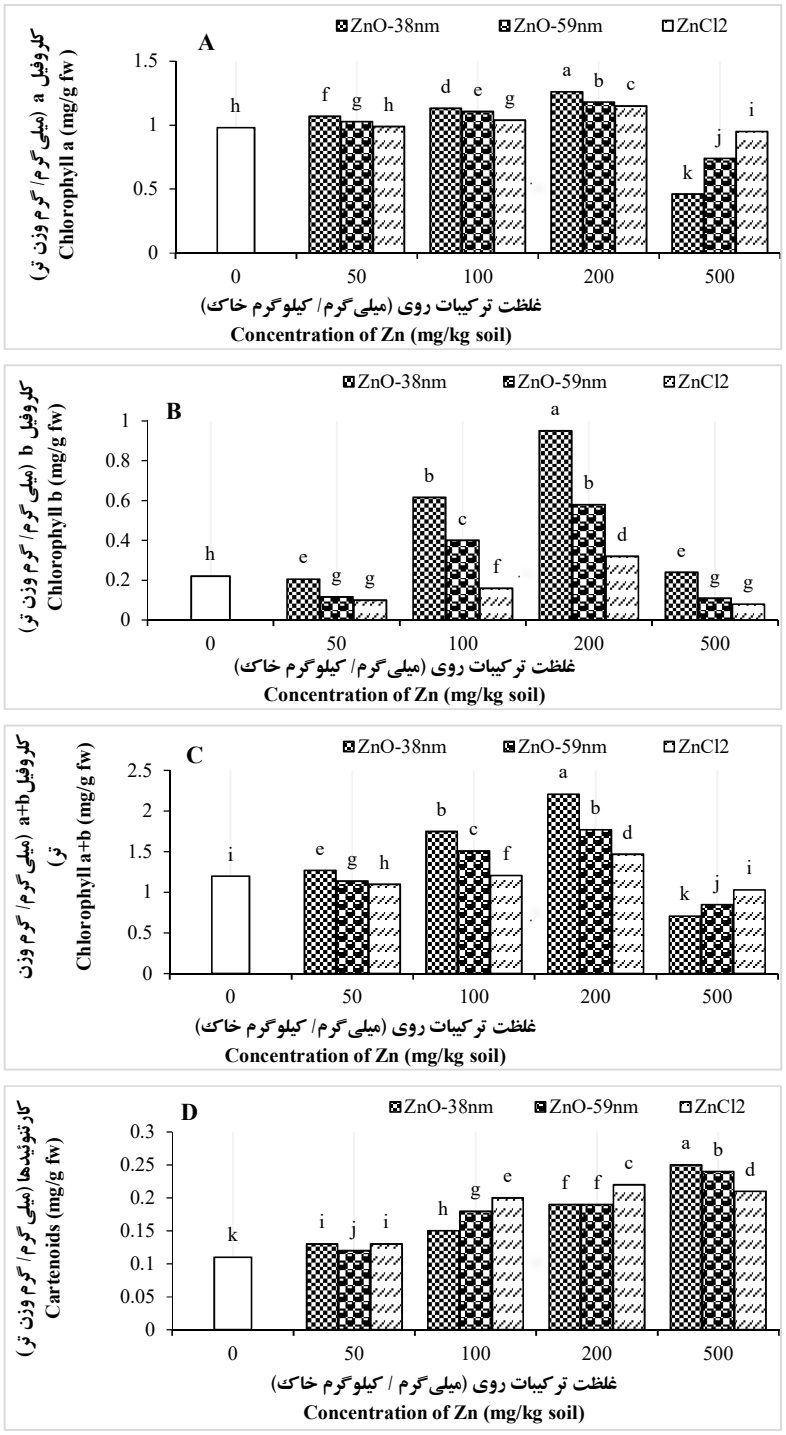
در آزمایش گلدانی اثر نوع ترکیب روی، غلظت ترکیب و اثر متقابل نوع ترکیب با غلظت ترکیب بر رنگدانه‌های فتوسنتزی در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. شکل ۴- الف نشان می دهد که میزان کلروفیل a گیاهچه حاصل از بذور سویای تغذیه شده تا غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت. میزان افزایش کلروفیل a در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسید روی ۳۸ نانومتر در مقایسه با شاهد به ترتیب ۹، ۱۵ و ۲۹ ٪ بود. کمترین میزان افزایش کلروفیل a مربوط به تیمار کلرید روی در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که ۱٪ نسبت به شاهد افزایش یافت. میزان کلروفیل a در گیاهچه‌های حاصل از گیاهان در معرض ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ترکیبات روی در مقایسه با شاهد کاهش یافت (شکل ۴- الف).

افزایش غلظت کلرید روی و نانوذرات اکسید روی تا غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در گیاهان مادری باعث افزایش میزان کلروفیل b نسبت به شاهد شد. گیاهچه‌های حاصل از گیاهان در معرض نانو اکسید روی افزایش کلروفیل b بیشتری در مقایسه با کلرید روی داشتند و بیشترین میزان کلروفیل مربوط به تیمار نانواکسید روی ۳۸ نانومتری بود که در غلظت های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم به ترتیب ۱۸۰ و ۳۳۱٪ بیشتر از شاهد بود (شکل ۴- ب).

گیاهچه های حاصل از بذر گیاهان در معرض نانو اکسید روی کلروفیل a+b بیشتری نسبت به کلرید روی داشتند و بیشترین میزان کلروفیل a+b در نانو اکسید روی ۳۸ نانومتر تا غلظت ۲۰۰ در مقایسه با نانواکسید روی ۵۹ نانومتر و کلرید روی بدست آمد میزان افزایش آن نسبت به شاهد در غلظت‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب ۴۶ و ۸۴ ٪ بود. به طور کلی تیمارهای روی در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اثر سمی بر مجموع کلروفیل داشت و با کوچک تر شدن اندازه ذرات اثر سمیت آن بر روی گیاه بیشتر شده است (شکل ۴- ج).

در آزمایش گلدانی اثرات افزایشی نانوذرات اکسید روی ۳۸ نانومتر بر میزان کارتنوئیدهای گیاهچه در مقایسه با نانوذرات اکسید روی ۵۹ نانومتر و یون های روی در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۴- د). با افزایش غلظت روی طی دوره رشد گیاه مادری، مقدار کارتنوئیدها گیاهچه برای همه ترکیبات روی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. علاوه بر این، بین گیاهان در معرض ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذره اکسید روی ۳۸ نانومتر و یون‌های روی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین کارتنوئید گیاهچه‌های حاصل از گیاهان تیمار شده با ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسید روی (۳۸ و ۵۹ نانومتر) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴- د).

نانوذرات اکسید روی در تعدیل رنگدانه‌های فتوسنتزی و سیستم انتقال الکترون به روش وابسته به غلظت، بر فتوسنتز گیاهان تاثیر می‌گذارند (Tarafdar *et al.*, 2014). در مطالعه ما نیز کاربرد نانوذرات اکسید روی در گیاه سویا باعث افزایش مقدار کلروفیل‌های گیاهچه تا غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم شد، در حالیکه در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم میزان آنها را کاهش داد (شکل ۴). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که این غلظت از ترکیبات روی خود به عنوان یک تنش عمل کرده است. در شکل ۴- د نیز مشاهده می‌شود که افزایش کارتنوئیدها تا حدودی بیانگر جبران اثرات تنش ناشی از غلظت زیاد عنصر روی است و به همین دلیل در غلظت‌های بالای روی (۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) میزان کارتنوئیدها نسبت به غلظت‌های پایین‌تر آن‌ها افزایشی بیشتری نشان داد و بین کارتنوئیدها با کلروفیل a و کلروفیل b همبستگی معنی‌داری مشاهده شد (به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۳۰). علاوه بر این، با افزایش غلظت ترکیبات روی در گیاه تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، میزان نیتروژن میزان نیتروژن دانه افزایش یافت (یوسفی تنها، ۱۳۹۹)، که با توجه به نقش حیاتی آن می‌تواند سبب افزایش میزان کلروفیل در گیاه شود.



شکل ۴- اثر تغذیه تغذیه گیاه مادری سویا با ترکیبات مختلف روی بر میزان کلروفیل a (الف) کلروفیل b (ب)، کلروفیل a+b (ج) و کارتنوئیدها (د) در آزمایش گلدانی.

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ ٪ فاقد تفاوت آماری معنی‌دار می‌باشند.

Fig. 4- Effect of feeding maternal soybean plant with different concentrations of zinc compounds on chlorophyll-a (A), chlorophyll-b (B), chlorophyll a+b (C), and carotenoids (D) in pot experiment. Means with similar letters do not have statistically significant difference based on LSD test at the 5% probability level.

طول ریشه

طول ریشه سویا تحت تأثیر نوع ترکیب روی، غلظت ترکیب و اثر متقابل آنها قرار گرفت ($p < 0.01$) . با توجه به شکل ۵- الف مشاهده می‌شود که افزایش غلظت کلرید روی در گیاه مادری باعث افزایش طول ریشه گیاهچه در آزمایش گلدانی شد. بیشترین میزان طول ریشه مربوط به تیمار ۳۸ نانومتر طول آن با افزایش میزان غلظت نانوذرات اکسید روی تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مقایسه با نانوکسید روی ۵۹ نانومتر و کلرید روی به ترتیب ۲/۲، ۳/۲ و ۴/۱ سانتی‌متر بیشتر بود. در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانواکسید روی اثر سمی بر روی گیاهچه بصورت کاهش طول ریشه نمایان شد.

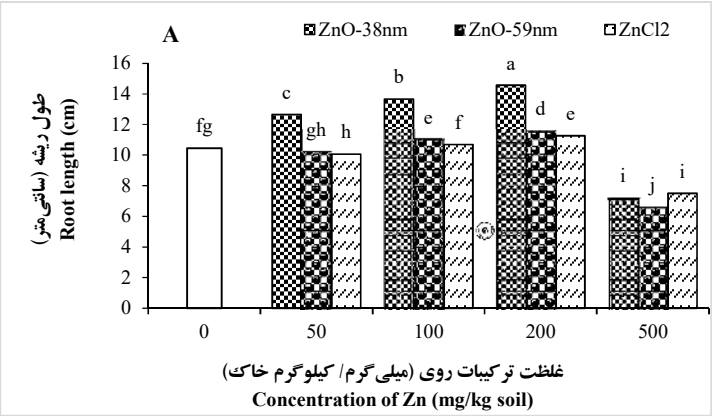
ارتفاع بوته

اثر نوع ترکیب روی، غلظت ترکیب و اثر متقابل آنها بر ارتفاع بوته سویا معنی‌دار است ($p < 0.01$) . گیاهچه حاصل از گیاهان در معرض نانو اکسید روی تا غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ارتفاع بیشتری در مقایسه با کلرید روی داشتند. بیشترین میزان ارتفاع بوته مربوط به تیمار گیاه مادری با ۳۸ نانومتر بود که ارتفاع بوته آن در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مقایسه با شاهد به ترتیب ۱/۲، ۲/۵۳ و ۳/۹ سانتی‌متر ارتفاع بوته افزایش یافت (شکل ۵- ب).

سطح برگ

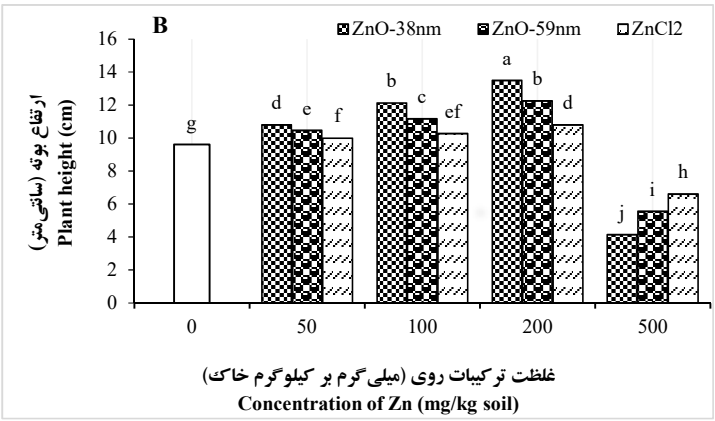
در آزمایش گلدانی، سطح برگ گیاهچه به نوع ترکیب روی، غلظت ترکیب و اثر متقابل آن‌ها پاسخ معنی داری نشان داد ($p < 0.01$) . با افزایش غلظت روی، سطح برگ نیز مشابه طول ریشه و ارتفاع بوته برای کلیه ترکیبات روی به طور معنی‌داری تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت، به جز یون های روی که در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فاقد اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد بودند. در حالی که در ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سطح برگ برای کلیه ترکیبات روی به طور معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۵- ج).

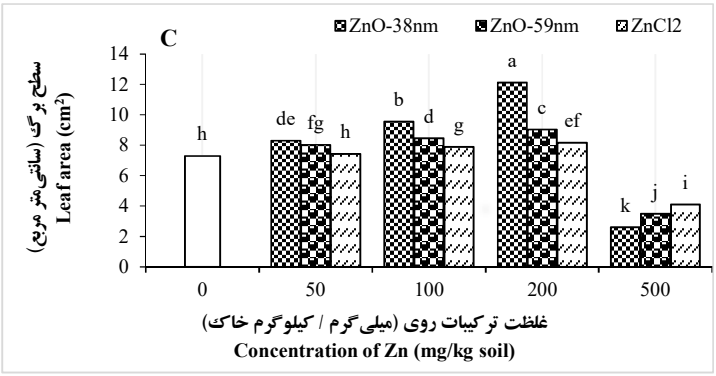
در این مطالعه تغذیه گیاه سویا نانوذرات اکسید روی با سایز کوچک‌تر در غلظت‌های متوسط (تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) باعث افزایش معنی دار طول ریشه، ارتفاع بوته و سطح برگ گیاهچه در آزمایش گلدانی شد.



شکل ۵- اثر تغذیه تغذیه گیاه مادری سویا با ترکیبات مختلف روی بر طول ریشه (الف)، ارتفاع بوته (ب) و سطح برگ (ج) در آزمایش گلدانی.
میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ ٪ فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

Fig. 5- Effect of feeding maternal soybean plant with different concentrations of zinc compounds on root length (A), plant height (B), and leaf area (D) in pot experiment.
Means with similar letters do not have statistically significant difference based on LSD test at the 5% probability level.





ادامه شکل ۵

Fig. 5- Continued

در حالیکه با افزایش غلظت (۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) طول ریشه، ارتفاع بوته و سطح برگ به طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۵)، که این افزایش طول ریشه و سطح برگ می‌تواند به دلیل تاثیر جذب فسفر در دانه‌های سویا تحت تغذیه با نانواکسید روی باشد (Yousefi-Tanha, 2020)، هم به عنوان یکی از اجزای کلیدی در ساختار گیاه و هم به عنوان یک کاتالیزور در بسیاری از واکنش‌های بیوشیمیایی اصلی باشد. زیرا این عنصر بطور اختصاصی بر جذب و تبدیل انرژی خور شیدی به ترکیبات قابل استفاده گیاه موثر است و نقش اساسی در تقسیم سلولی، بزرگ شدن سلول، تحریک رشد ریشه و ریشه‌زایی دارد (Yousefi-Tanha, 2020)، بنابراین باعث افزایش مقدار جوانه‌زنی سویا (شکل ۱- الف) و افزایش شاخص بنیه طولی گیاهچه (شکل ۳-ج) و بالطبع بهبود طول ریشه و ارتفاع بوته می‌شود (شکل ۵). در این ارتباط بونیانیتینگ و همکاران (Boonyanitipong *et al.*, 2011) نیز دریافتند که نانوذرات اکسید روی اثر مثبت بر روی جوانه‌زنی، رشد ساقه و ریشه برنج (*Oryza sativa*) دارد.

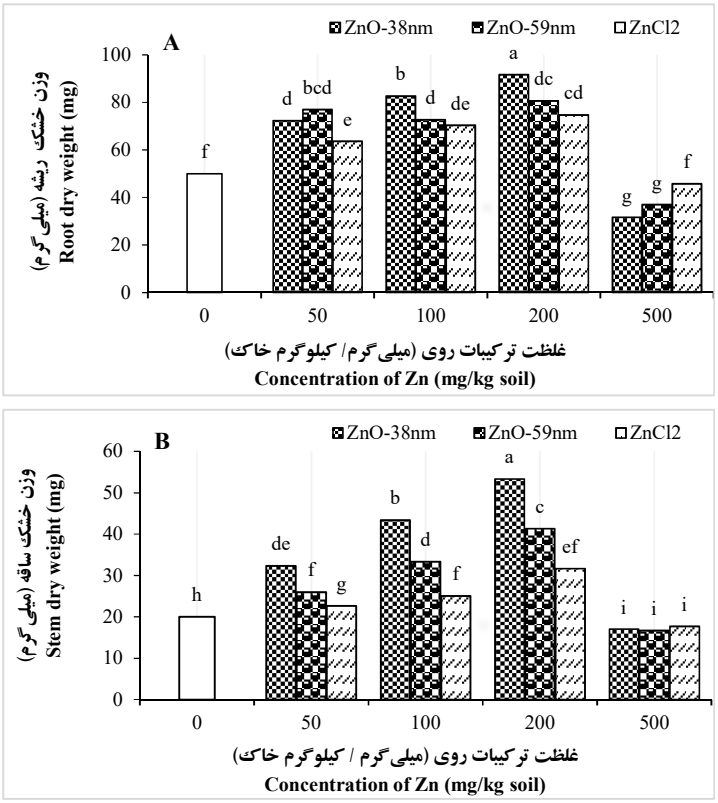
وزن خشک ریشه، ساقه و برگ

در آزمایش گلدانی وزن خشک ریشه، ساقه و برگ تحت تاثیر نوع ترکیب روی، غلظت ترکیب و اثر متقابل آنها قرار گرفت ($p < 0.01$) . همانطور که در شکل ۶-الف مشاهده می شود، افزایش غلظت کلرید روی در گیاه مادری باعث افزایش وزن ریشه سویا شد که در مقایسه با شاهد وزن خشک ریشه در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب ۲۷، ۴۱ و ۴۹ ٪ افزایش

نشان داد و در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم درمقایسه با شاهد کاهش یافت. بیشترین میزان وزن ریشه با نانواکسید روی ۳۸ نـانومتر در غلظـت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم حاصـل شـد که وزن آن ۸۳ میلی‌گرم نسـبت به شـاهد افزایش یافت و علاوه بر این نانواکسـید روی در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اثر سـمی بر روی گیاه داشـته است.

وزن خشـک سـاقه گیاهچه‌های حاصـل از سـویا تغذیه شـده با کلرید روی و نانوذرات اکسـید روی. تا غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روند افزایشی نشان داد. بیشترین وزن ساقه در بین نوع ذرات روی مربوط به تیمار ۳۸ نانومتر است که وزن خشـک سـاقه آن با افزایش میزان غلظت تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بـه ترتیـب ۱۲/۳۳، ۲۳/۳۳ و ۳۳/۳۳ میلی‌گرم بیشـتر از شـاهد بود وکمترین وزن خشـک سـاقه مربوط به تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نانوذرات اکسـید روی ۱۵٪ نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۶- ب).

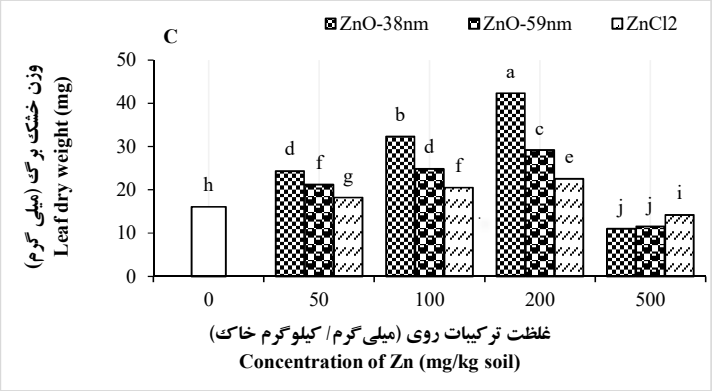
نتایج اثر وابسـته به سـایز ذره و غلظت را هنگام قرار گرفتن گیاه سویا در معرض نانوذرات اکسید روی در وزن خشـک نمایان شـد (شـکل ۶-ج). با افزایش غلظت روی، وزن خشـک برگ برای کلیه نانوذرات اکسـید روی و یون‌هـای روی بـه طور معنی‌داری تـا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت . در حالیکه در ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، وزن خشـک برگ تحت تاثیر کلیه ترکیبات روی به طور قابل توجهی کاهش یافت (شکل ۶- ج).



شکل ۶- اثر تغذیه گیاه مادری سویا با ترکیبات مختلف روی بر وزن خشک ریشه (الف)، وزن خشک ساقه (ب) و وزن خشک برگ (ج) در آزمایش گلدانی.

میانگین‌های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ ٪ فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

Fig. 6- Effect of feeding maternal soybean plant with different concentrations of zinc compounds on root dry weight (A), stem dry weight (B), and leaf dry weight (C) in pot experiment.
Means with similar letters do not have statistically significant difference based on LSD test at the 5% probability level.



ادامه شکل ۶

Fig. 6- Continued

در مطالعه حاضر، کاربرد نانوذرات اکسید روی در تغذیه گیاه مادری باعث افزایش وزن خشک اندام‌های مختلف گیاهچه شد. در این ارتباط که یوسفی تنها (Yousefi-Tanha, 2020) نشان داد که افزایش میزان ترکیبات روی تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تغذیه گیاه سویا باعث افزایش میزان نیتروژن دانه می‌شود. همچنین نتایج آزمایش گلدانی نیز حاکی است که بذور تولید شده در شرایط تغذیه سویا ترکیبات روی تا غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای ریشه طویل، ارتفاع بوته بیشتر و سطح برگ بالاتری بودند. علاوه بر این، عنصر روی بر مقدار کلروفیل‌های برگ و در نتیجه سیستم فتوسنتزی گیاه اثر می‌گذارد. بدین ترتیب که افزایش میزان کلروفیل‌های برگ (شکل ۴) موجب افزایش فتو سنتز و به دنبال آن تولید ماده خشک بیشتر می‌شود. در مطالعه ما نانوذرات اکسید روی و یون‌های روی به طور بالقوه در غلظت‌های ۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم باعث بهبود و در غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن سبب مهار وزن خشک ریشه ساقه و برگ سویا شدند (شکل ۶).

نتیجه‌گیری

بطور کلی نتیجه‌گیری می‌شود که تغذیه گیاه سویا با ترکیبات روی تا غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سبب افزایش جوانه‌زنی، بهبود فتوسنتز و به دنبال آن افزایش طول ریشه و اندام هوایی گیاهچه حاصل از بذور تولید شده می‌شود. اثر تغذیه‌ای نانوذرات اکسید روی در مقایسه با کلرید روی بیشتر بود و با کوچکتر شدن اندازه نانوذره بهبود رشد گیاهچه قابل ملاحظه است. بنابراین تغذیه گیاه سویا برای افزایش کارایی بذر آن می‌تواند تکنیک مفیدی باشد.

منابع

Reference

Abdul- Baki, A., and J. Anderso. 1973. Vigour determination in soya bean by multiple criteria. Crop Sci. 10: 31-34.

Boonyanitipong, P., B. Kositsup, P. Kumar, S. Baruah, and J. Dutta. 2011. Toxicity of ZnO and TiO2 nanoparticles on germinating rice seed *Oryza sativa* L. Int. J. Biosci. Biochem. Bioinform. 1: 282- 300.

Andrejić, G., G. Gajić, M. Prica, Ž. Dželetović, and T. Rakić. 2018. Zinc accumulation, photosynthetic gas exchange, and chlorophyll a fluorescence in zn-stressed Miscanthus× giganteus plants. Photosynthetica. 56: 1249-1258.

Faizan, M., S. Hayat, and J. Pichtel. 2020. Effects of zinc oxide nanoparticles on crop plants: A perspective analysis. Sustain. Agric. Res. 41: 83-99.

Garma, T. 2011. Semiconductor nanowires and their field-effect devices. Ph.D. Thesis. Univ. of München, Germany.

García-López, J. I, F. Zavala-García; E. Olivares-Sáenz, R. H. Lira-Saldívar, B. C. Enrique Díaz, N. A. Ruiz-Torres, E. Ramos-Cortez, R. Vázquez-Alvarado, and G. Niño-Medina. 2018. Zinc oxide nanoparticles boosts phenolic compounds and antioxidant activity of Capsicum annuum L. during germination. Agron. Basel. 8: 215. DOI: 10.3390/agronomy8100215.

Ghosh, M., A. Jana, S. Sinha, M. Jothiramajayam, A. Nag, and A. Chakraborty. 2016. Effects of ZnO nanoparticles in plants: Cytotoxicity, genotoxicity, deregulation of antiodant defenses and cell- cycle arrest. Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen. 807: 25- 32.

Ikic, I., M. Maric, S. Tomasovic, J. Gunjaca, Z. S. Atovic, and H. S. Arcevic. 2012. The effect of germination temperature on seed dormancy in creation- grown winter wheats. Euphytica. 188: 25- 34.

Li, X. Q., and W. X. Zhang. 2007. Sequestration of metal cations with zerovalent iron nanoparticles a study with high resolution X-ray photoelectron spectroscopy (HR-XPS). J. Phys. Chem. C. 111: 6939-6946.

Lichtenthaler, H.K., and C. Buschman. 2001. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. In R.E. Wrolstad (ed). Current Protocols in Food Analytical Chemistry John Wiley and Sons, Inc. New York.

Lotfifar, A., G. Akbari, A. Shirani Rad, S. Sadat Nouri, S. Mottaqi, and A. Nikoniaei. 2007. Effect of 1000-seed weight on seed germination capacity and field germination power in spring rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). Agric. Res. 7: 199-213. (In Persian with abstract English)

Masciangioli, T., and W. X. Zhang. 2003. Nanotechnology could substantially enhance environmental quality and sustainability through pollution prevention, treatment, and remediation. Environ. Sci. Technol. 37: 102–108.

Pabalan, R. T., and F. P. Bertetti. 2001. Cation-exchange properties of natural zeolites. Rev. Mineral. Geochem. 45: 453-518.

Prasad, T., P. Sudhakar, Y. Sreenivasulu, P. Latha, V. Munaswamy, and K. Rajareddy. 2012. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. J. Plant Nutr. 35: 906- 927.

Rajput, V., S. Sushkova, T. Minkina, and A. Behal. 2019. ZnO and CuO nanoparticles: a threat to soil organisms, plants, and human health. Environ. Geochem. Health. https://doi. Org/ 10.1007/ s10653- 019-00317-3.

Raskar, S. V. and S. L. Laware. 2014. Effect of zinc oxide nanoparticles on cytology and seed germination in onion. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.3: 467- 473.

Ronaghi, A., M. Chakralhosseini, and N. Karimian. 2002. The effect of phosphorus and iron on the growth and chemical composition of corn. J. Agric. Sci. Technol. 6: 53-66.

Seleiman, M. F., K. F. Almutairi, M. Alotaibi, A. Shami, B. A. Alhammad, and M. L. Battaglia. 2021. Nano-fertilization as an emerging fertilization technique: why can modern agriculture benefit from its use? Plants. 10: 2.

Singh, N. B., N. Amist, K. Yadav, D. Singh, J. K. Pandey, and S. C. Singh. 2013. Zinc oxide nanoparticles as fertilizer for the germination, growth and metabolism of vegetable crops. J. Nanoeng. Nanomanuf. 3: 353-364.

Tarafdar, J. C., R. Raliya, H. Mahawar, and I. Rathore. 2014. Development of zinc nanofertilizer to enhance crop production in pearl millet (*Pennisetum americanum)*. J. Sustain. Trop. Agric. Res. 3: 257-262.

Torabian, S., M. Zahedi, and A. Khoshgoftarmanesh. 2016. Effect of foliar spray of zinc oxide on some antioxidant enzymes activity of sunflower under salt stress. J. Agr. Sci. Technol. 18: 1013-1025

Tymoszuk, A, and J. Wojnarowicz. 2020. Zinc oxide and zinc oxide nanoparticles impact on *In Vitro* germination and seedling growth in *Allium cepa* L. Materials 13: 2784. https://doi.org/10.3390/ma13122784.

Wang, M., Y. Yang, and W. Chen. 2018. Manganese, zinc, and pH affect cadmium accumulation in rice grain under field conditions in southern China. J. Environ. Qual. 47: 306-311.

Xiang L., , H. M. Zhao, Y. W. Li, X. P. Huang, X. L. Wu, T. Zhai, , Y. Yuan, Q. Y. Cai, and C. H. Mo. 2015. Effects of the size and morphology of zinc oxide nanoparticles on the germination of Chinese cabbage seeds. Environ. Sci. Pollut. Res. 22: 10452–10462.

Yari, L., H. Afshar, M. Shakeri, A. Abbasian, and H. Sadeghi. 2014. The effect of potassium hydrogen phosphate on germination and seedling growth of rice. Seed & Plant Certification & Registration Institute, Karaj. 13: 1-4. (In Persian)

Yousefi-Tanha, A. 2020. Investigation of transfer and effects of metal oxide nanoparticles (zinc oxide and copper oxide) in soybean. Ph.D. Thesis. Univ. of Shahrekord, Faculty of Agriculture. Iran. (In Persian)

Yusefi-Tanha, E., S. Fallah, A. Rostamnejadi, and L.R. Pokhrel. 2020. Zinc oxide nanoparticles (ZnONPs) as nanofertilizer: Improvement on seed yield and antioxidant defense system in soil grown soybean (*Glycine max* cv. Kowsar). Sci. Total Environ. 738: 140240. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140240